

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-107060

(43) 公開日 平成8年(1996)4月23日

(51) IntCl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027				
G 0 3 B 27/32		F		
G 0 3 F 7/20	5 2 1			
			H 0 1 L 21/ 30	5 1 5 D
審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 6 頁)				

(21) 出願番号 特願平6-242448

(22) 出願日 平成6年(1994)10月6日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 神保 宏樹

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72) 発明者 平岩 弘之

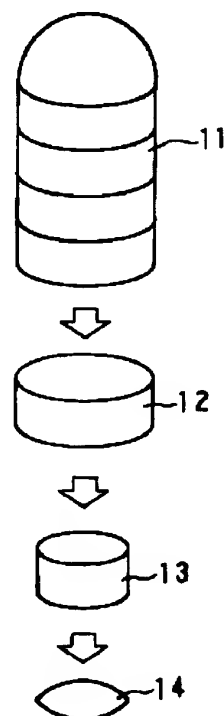
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(54) 【発明の名称】 光リソグラフィー用光学部材及び投影光学系

(57) 【要約】

【目的】 微細で鮮明な、例えば線幅0.3 μ m以下の露光・転写パターンを実現することが可能な光リソグラフィー用光学部材及び投影光学系を提供する。

【構成】 光学部材の屈折率の高均質性に加え、複屈折量の絶対値が2.0nm/cm以下、複屈折量の分布が中央対称、屈折率楕円体における進相軸方向が中央対称であることにより、投影レンズの設計性能に近い解像度を得ることが可能になる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】400nm以下の特定波長帯域で使用される光リソグラフィー用光学部材において、複屈折量の分布が中央対称性を有することを特徴とする光学部材。

【請求項2】400nm以下の特定波長帯域で使用される光リソグラフィー用光学部材において、屈折率楕円体における進相軸方向が中央対称性を有することを特徴とする光学部材。

【請求項3】請求項1または請求項2に記載の光学部材において、複屈折量の絶対値が2nm/cm以下であることを特徴とする光学部材。

【請求項4】請求項1または請求項2に記載の光学部材において、365nm, 248nm, 193nmにおける10mm内部透過率が99.9%を超えることを特徴とする光学部材。

【請求項5】請求項1または請求項2に記載の光学部材において、KrFエキシマレーザを400mJ/cm²・A^{1/2}で10⁶A^{1/2}照射した後、248nmにおける10mm内部透過率が99.9%を超えることを特徴とする光学部材。

【請求項6】請求項1または請求項2に記載の光学部材において、ArFエキシマレーザを100mJ/cm²・A^{1/2}で10⁶A^{1/2}照射した後、193nmにおける10mm内部透過率が99.9%を超えることを特徴とする光学部材。

【請求項7】請求項1または請求項2に記載の光学部材において、水素濃度5×10¹⁷個/cm³以上であり、中央部の方が周辺部より高い水素濃度を持つ石英ガラスからなることを特徴とする光学部材。

【請求項8】400nm以下の特定波長帯域で使用される、多数の光学部材の組み合わせにより構成された光リソグラフィー用投影光学系において、それぞれの光学部材の複屈折量の分布を組み合わせ、投影光学系の結像位置における複屈折量の絶対値が2nm/cm以下になるように調整したことを特徴とする光リソグラフィー用投影光学系。

【請求項9】400nm以下の特定波長帯域で使用される、多数の光学部材の組み合わせにより構成された光リソグラフィー用投影光学系において、それぞれの光学部材の屈折率楕円体における進相軸方向を組み合わせ、投影光学系の屈折率楕円体における進相軸方向が光軸に対して中央対称になるように調整したことを特徴とする光リソグラフィー用投影光学系。

【請求項10】400nm以下の特定波長帯域で使用される光リソグラフィー用投影光学系において、それぞれの光学部材の複屈折量の分布、及び屈折率楕円体における進相軸方向を組み合わせ、投影光学系の結像位置における複屈折量の絶対値が2nm/cm以下、かつ、投影光学系の屈折率楕円体における進相軸方向が光軸に対して中央対称になるように調整したことを特徴とする光リソグラフィー用投影光学系。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、紫外線リソグラフィー技術において400nm以下、好ましくは300nm以下の特定波長領域で、レンズやミラー、プリズム等の光学系に使用される光リソグラフィー用光学部材、及びこれを用いた投影光学系に関する。

【0002】

【従来の技術】近年において、VLSIは、ますます高集積化、高機能化され、論理VLSIの分野ではチップ上により大きなシステムが盛り込まれるシステムオンチップ化が進行している。これに伴い、その基板となるシリコン等のウエハ上において、微細加工化及び高集積化が要求されている。シリコン等のウエハ上に集積回路の微細パターンを露光・転写する光リソグラフィー技術においては、ステッパと呼ばれる露光装置が用いられている。

【0003】VLSIの中でDRAMを例に挙げれば、LSIからVLSIへと展開されて1K→256K→1M→4M→16Mと容量が増大してゆくに連れ、加工線幅がそれぞれ10μm→2μm→1μm→0.8μm→0.5μmと微細なステッパが要求される。このため、ステッパの投影レンズには、高い解像度と深い焦点深度が要求されている。この解像度と焦点深度は、露光に使う光の波長とレンズのN.A.（開口数）によって決まる。

【0004】細かいパターンほど回折光の角度が大きくなり、レンズのN.A.が大きくなければ回折光を取り込めなくなる。また、露光波長λが短いほど同じパターンでの回折光の度は小さくなり、従ってN.A.は小さくてよいことになる。解像度と焦点深度は、次式のように表される。

解像度=k1・λ/N.A.

焦点深度=k2・λ/N.A.²

（但し、k1、k2は比例定数である。）

解像度を向上させるためには、N.A.を大きくするか、λを短くするかのどちらかであるが、上式からも明らかのように、λを短くするほうが深度の面で有利である。このような観点から、光源の波長は、g線（436nm）からi線（365nm）へ、さらにKrF（248nm）やArF（193nm）エキシマレーザーへと短波長化が進められている。

【0005】また、ステッパに搭載される光学系は、多数のレンズ等の光学部材の組み合わせにより構成されており、たとえレンズ一枚当たりの透過率低下量が小さくとも、それが使用レンズ枚数分だけ積算されてしまい、照射面での光量の低下につながるため、光学部材に対して高透過率が要求されている。そこで、400nmよりも短い波長領域では短波長化及び光学部材の組み合わせによる透過率の低下を考慮した特殊な製法の光学ガラスを用いる。さらに300nm以下では合成石英ガラスやCaF₂（蛍石）等のフッ化物単結晶を用いることが提案されている。

【0006】一方、投影レンズとしてより微細な線幅を

実現し、微細かつ鮮明な露光・転写パターンを得るためには、屈折率の均質性の高い(測定領域内の屈折率のばらつきの小さい)光学部材を得ることが不可欠である。しかし、最近の半導体のウエハサイズの大形化に伴う露光面積の拡大により、これらの材料の口径や厚さは拡大し、その品質を得ることがますます困難になっている。そこで、大口径や厚みのある光学部材の屈折率の均質性を向上させるために様々な試みが行われている。

【0007】この屈折率の均質性については、従来、測定領域内の屈折率の最大値と最小値の差(以下 Δn とする)で表され、この値が小さいほど均質性が良い光学部材であると考えられている。それ故、既存の高均質と称する光学部材はこの Δn を最小にすることを目的に製造が行われている。一方、光学部材の複屈折に関しては、複屈折量が 5 nm/cm 以下の材料であれば、レンズ性能に影響がないとされていた。

【0008】しかしながら、一般に高均質と言われる Δn が 10^{-6} オーダー以下で、かつ、複屈折量が 5 nm/cm 以下の光学部材を使用しているにもかかわらず、微細かつ鮮明な露光・転写パターンを得られない場合があった。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、光リソグラフィ技術に使用される光学部材の複屈折の評価において、既存の技術とは異なる概念を導入し、詳細な評価及び光学系の調整を行うことにより、微細で鮮明な、例えば線幅 $0.3\mu\text{m}$ 以下の露光・転写パターンを実現することが可能な光リソグラフィ用光学部材及び投影光学系を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、光リソグラフィ技術において微細かつ鮮明な露光・転写パターンを得ることのできる光学部材の特性について鋭意研究した。その結果、投影レンズの性能は均質性 Δn がほぼ同一の場合、光学部材の複屈折量及びその分布、さらにその進相軸方向の分布が限界加工線幅と良い相関関係を示すことを見出した。そしてこの知見をもとに、以下に示す物性を持つ光学部材を用いて構成された光学系において、線幅 $0.3\mu\text{m}$ 以下の微細かつ鮮明な露光・転写パターンを得られる事が明らかになった。

【0011】ここで偏光、複屈折特性について説明する。偏光とは、光が電磁場に対する横波であり、その光の進行方向から観察した電場の変化を示す。例えばその状態を表す用語として、直線偏光、円偏光、楕円偏光が用いられる。また、同様の現象を別の言い方で表現すると、複屈折とは一つの入射光が光学的異方体を通過した

とき二つの屈折光が得られる現象である。この時物質中を伝搬する方向によって位相速度(屈折率)の異なる光を異常光線、方向によらず位相速度が一定の光を常光線と定義される。

【0012】さらに、屈折率の偏光方向における分布を示す方法に、屈折率楕円体を用いられる。屈折率楕円体とは、屈折率の3次元空間での偏光に対する量を示す。屈折率楕円体は一般的に次式で表される。(光学部品の使い方と留意点 末田哲夫)

【0013】

【数1】

$$\frac{X^2}{n_1^2} + \frac{Y^2}{n_2^2} + \frac{Z^2}{n_3^2} = 1$$

n_1, n_2, n_3 は 主屈折率を示す。

X, Y, Z は 3次元空間での座標を示す。

※一軸性結晶では $n_1 = n_2$ となる。

【0014】ここで、進相軸とは屈折率の小さい方向つまり屈折率楕円体の短軸の方向と定義する。屈折率の高い方向を示すためには、進相軸の反対の意味として遅相軸という用語が用いられる。均質性に加え、下記の偏光(複屈折)特性の条件を満たす事により、投影レンズの設計性能に近い解像度を得ることが可能になる。

【0015】①複屈折量の絶対値が 2.0 nm/cm 以下である事

②複屈折量の分布に中央対称性がある事

③屈折率楕円体における進相軸方向が中央対称である事
これらの条件を満たすことにより高い解像度が得られるのは、複屈折の絶対量が小さい事、及び偏光特性が中央対称であるために、解像度に対する影響が少なくなる為であろうと推測される。

【0016】光学部材の複屈折量の絶対値が 2.0 nm/cm 以上であると、これを用いて構成された投影光学系のコントラストが低下し、解像度が悪くなり、結果として線幅 $0.3\mu\text{m}$ 以下の露光・転写パターンを得ることができない。次に投影光学系の結像位置における複屈折量を最小にする、レンズの調整について説明する。

【0017】偏光解析には一般的にJones行列計算が用いられる。(分光の基礎と方法工藤恵栄)

以下に、本発明に用いたJones Matrixを示す。 y 軸及び z 軸方向の振幅透過度は、 $\delta y = \delta z = 1$ であるとした。

【0018】

【数2】

$$E_0: \begin{matrix} \text{電気ベクトル} \\ \text{入射光} \end{matrix} = \begin{bmatrix} E_{y0} \\ E_{z0} \end{bmatrix}$$

$$E: \begin{matrix} \text{電気ベクトル} \\ \text{出射光} \end{matrix} = \begin{bmatrix} E_y \\ E_z \end{bmatrix}$$

$$J_{Qn}: \begin{matrix} \text{レンズ素材} \\ \text{位相差} \end{matrix} = \begin{bmatrix} \exp(i\Delta) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$J_{Tn}: \begin{matrix} \text{レンズ素材} \\ \text{回転因子} \end{matrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

Δ : 素材複屈折量 (位相差)

n : レンズ枚数

【0019】このMatrixを用いた投影レンズ系に * 【0020】
おける電気ベクトルの計算例を示す。 * 20 【数3】

$$E = J_{Tn} \cdot J_{Qn} \cdot J_{Tn-1} \cdot J_{Qn-1} \cdot \dots \cdot J_{T1} \cdot J_{Q1} \cdot E_0$$

n : レンズ枚数

【0021】ここで、式中の n はレンズの枚数であり、且つ $n, n-1, \dots, 1$ は、投影レンズ系における各レンズエレメント(部材)を示す記号でもある。この計算にレンズ部材の測定結果を代入し、最も複屈折量が最小になるような部材の組み合わせで投影レンズを組み上げる事で、さらにレンズ性能は向上した。

【0022】この組み合わせの例として、2枚の平行平板(A, B)を考える。それぞれある一点において、複屈折量が同一で、且つAで発生する異常光線の位相速度が常光線にたいして正であり、Bでは負であるとする。この場合、理論的には完全円偏光が入射した場合通過した光線も完全円偏光となる。つまり、見かけ上の複屈折量が0と同意となる。この際、異常光の位相速度が常光より常に小さい正の一軸性結晶(水晶等)や常に大きい負の一軸性結晶(方解石等)を使用する方法もある。実際にはレンズ枚数は、一般的には10枚以上であるのでこの様に単純ではない。

【0023】同様に、レンズ系の偏光特性または複屈折特性の光軸する中央対称性についても、各レンズ部材の測定結果により、最も中央対称に近づく組み合わせで投影レンズを組み上げる。

【0024】

【作用】巨視的な光学的性質である屈折率を考えた場合、ガラスは光学結晶等と異なり、理論的な無応力且つ完全均一状態では、その構造に方向性がないため、歪が発生せず複屈折は0である。しかし、その様な状態は重※50

※力等の影響も含め現実的には有り得ない。

【0025】そのため、石英ガラスの複屈折は、不純物と密度分布、熱履歴などにより発生する残留応力に起因する。不純物としては、OH、Cl、金属不純物、溶存ガスがあげられ、ダイレクト法の場合は、数百ppm以上含有されるOH、次いで数十ppmが含有されるCl、が混入量から支配的だと考えられる。他の不純物は、分析によると50ppb以下に過ぎないので、複屈折に対する影響は無視できる。

【0026】一方、密度分布としては、熱履歴による密度分布が支配的である。これは、ダイレクト法(Direct Method)、VAD(vapor axial deposition)法、ゾルゲル(sol-gel)法、プラズマバーナー(plasma burner)法等の製造方法に依らず存在する。このような成分により複屈折量及び分布が決定されると推測される。この様な複屈折の原因である残留応力を減少するための手段としては以下の方法がある。

【0027】①合成条件の最適化による不純物量、密度分布の減少

②アニール条件の最適化

また、複屈折量及びその分布、進相軸方向の分布を中央対称にするための方法としては、合成、均質化や形状変更のための熱処理、除歪のためのアニール、および切断・丸め等の機械的な加工、の各工程で幾何学的な中心位置を常に維持するような製造方法が必要となる。

【0028】図1に、本発明に係るリソグラフィー用石

英ガラスの製造手順の概略図を示す以下に製造方法の一例を説明する。石英ガラスの合成をインゴットを回転させながら行えば、不純物濃度分布、物性分布、及びそれに基づく偏光及び複屈折特性は必ず中心対称になる。得られたインゴット11を、まず円筒形状12に切断する。この円筒形状12の側面はインゴット11側面のままであるため、円筒形状12の幾何学的な中心を側面から求めれば、それがインゴット11合成時の中心、すなわち応力分布の中心となる。この点を円形の切断面上にマーキングし、その後の切断、丸め等の加工の中心基準とすれば、インゴット11の中心軸と石英ガラス部材の中心軸とが一致し、最終的に偏光特性及び複屈折特性の中央対称性を有する光学部材を得ることができる。

【0029】前述したように、偏光及び複屈折特性は、不純物と熱履歴による密度分布等により決まるが、これらは合成条件により制御を行うことができる。合成条件の変動に影響を与える、原料、酸素、水素等のガス流量、排気流量、回転、引き下げ等の駆動部は、高精度に制御可能な構成とする。また、レーザー光の光軸を基準軸として使用し、炉、駆動部、バーナーのアライメントを高精度で行う。

【0030】アニール等の熱処理を加える場合は、対称性を維持するために、素材形状を円筒形とし、回転対称な温度分布を持つ炉の中央で熱を加える必要がある。この石英ガラス素材は回転させる事が望ましい。粘性変形をさせる場合は、片寄った変形とならないように特に配慮を加える必要がある。これらの方法により、複屈折量及び偏光特性分布を調整し、所望の光学部材を得ることができる。

【0031】さらに、丸め等の加工を加え、石英ガラス部材13を得るときは、加工前に中心位置をマークし、位置のズレがないように加工を行う。この石英ガラス部材13をさらに加工・研磨し、投影レンズ14を作製するこの際、均質性 Δn は、 2×10^{-6} 以下のものを使用した。図2にエキシマレーザステッパの簡単な概略図を示したが、以上のような工程により様々な形状の投影レンズ14を作製し、組み合わせて鏡筒に組み込むことにより、露光・転写用の投影レンズ系24ができあがる。この図において、21はエキシマレーザ装置、22はエキシマレーザステッパの照明系、23はレチクル、25は縮小投影されるシリコンウエハである。このような操作を行うことにより、光リソグラフィー技術において微細かつ鮮明なパターンを得るための光学性能を得る事ができる。さらに、進相軸方向を考慮し、結像面で複屈折量が最小になるような、レンズ部材を組み合わせて投影レンズを組み上げる事によりさらに、解像度は向上した。

【0032】すなわち以上のように本発明によれば、光リソグラフィー技術において、 $0.3 \mu\text{m}$ 以下の微細パターンを得る事が可能になった。

【0033】

【比較例】レンズ部材として均質性 $\Delta n \leq 2 \times 10^{-6}$ 、且つ 複屈折量 $\leq 5 \text{ nm/cm}$ の仕様を満たす石英ガラスでKrFエキシマレーザステッパ用投影レンズを作製した。得られた解像度(L/S)は、設計解像度(L/S) $0.25 \mu\text{m}$ に対して $0.5 \mu\text{m}$ であった。この様な仕様による材料の選定だけでは、設計性能が得られない事がわかった。

【0034】L/Sとは、line and space の略語で半導体製造の性能評価の指標として一般的に使用される数値である。均質性の測定は、He-Neレーザ干渉計を用いたオイルオンプレート法、複屈折の測定は回転検光子法により行った。

【0035】

【実施例1】レンズ部材の $\Delta n \leq 2 \times 10^{-6}$ 、且つ 複屈折量 $\leq 2 \text{ nm/cm}$ 、且つ複屈折及び偏光特性が中央対称である仕様を満たす石英ガラスでKrFエキシマレーザステッパ用投影レンズを作製した。得られた解像度(L/S)は、設計解像度(L/S) $0.25 \mu\text{m}$ に対して $0.3 \mu\text{m}$ であった。この仕様により部材を選別する事で、仕様に近い性能が得られた。

【0036】均質性の測定は、He-Neレーザ干渉計を用いたオイルオンプレート法、複屈折の測定は位相変調法により行った。位相変調法は、回転検光子法と比較しておよそ2桁高い感度で、進相軸方向の確認が容易である。(持田悦宏：光技術コンタクト vol. 27, No. 3 (1989))

この際使用した石英ガラスは、365nm, 248nm, 193nmにおいて10mm内部透過率が99.9%を超えるものであった。

【0037】また、KrFエキシマレーザを $400 \text{ mJ/cm}^2 \cdot \text{A}^\circ$ 以下で 10°A° 照射した後、248nmにおける10mm内部透過率は99.9%を超えていた。さらに、ArFエキシマレーザ特性を確認したところ $100 \text{ mJ/cm}^2 \cdot \text{A}^\circ$ 以下で 10°A° 照射した後、193nmにおける10mm内部透過率が99.9%を超えることを確認した。レンズ設計をArFエキシマレーザ用にする事で、この材料を使用すれば、ArFエキシマステッパにも使用可能である。

【0038】この石英ガラスは、水素濃度 $5 \times 10^{17} \text{ 個/cm}^3$ 以上であり、中央部の方が周辺部より高い水素濃度を持つ。この投影レンズは、256MBのVLSI製造ライン用に使用可能である。

【0039】

【実施例2】レンズ部材特性 $\Delta n \leq 2 \times 10^{-6}$ 、且つ複屈折量 $\leq 2 \text{ nm/cm}$ 、且つ複屈折及び偏光特性が中央対称である仕様を満たす石英ガラスでKrFエキシマレーザステッパ用投影レンズを作製した。さらに、レンズ部材組み上げ時に、結像面における、複屈折量が最小になるように使用する部材を組み合わせ、調整を行った。得られた解像度(L/S)は、設計解像度(L/S) $0.25 \mu\text{m}$ に対して $0.25 \mu\text{m}$ であった。

【0040】均質性の測定は、He-Neレーザ干渉計を用いたオイルオンプレート法、複屈折の測定は位相変調法により行った。この際使用した石英ガラスは、365nm、248nm、193nmにおいて10mm内部透過率が99.9%を超えるものであった。また、KrFエキシマレーザを $400\text{mJ}/\text{cm}^2 \cdot \text{パルス}$ で $10^6 \text{パルス}/\text{パルス}$ 照射した後、248nmにおける10mm内部透過率は99.9%を超えていた。

【0041】さらに、ArFエキシマレーザ特性を確認したところ $100\text{mJ}/\text{cm}^2 \cdot \text{パルス}$ で $10^6 \text{パルス}/\text{パルス}$ 照射した後、193nmにおける10mm内部透過率が99.9%を超えることを確認した。レンズ設計ををArFエキシマレーザ用にする事で、この材料を使用すれば、ArFエキシマステップにも使用可能である。この石英ガラスは、水素濃度 5×10^{17} 個/ cm^3 以上であり、中央部の方が周辺部より高い水素濃度を持つ。

【0042】この投影レンズは、256MB以上の微細なVLSI製造ライン用に使用可能である。以上の実施例においては、石英ガラスを材料として用いた投影レンズについて詳述したが、本発明はこれに限られるものではなく石英ガラス以外の光学部材、例えば蛍石を材料として用いたものにも適用され得るものであり、さらに

は、レンズ以外の光学部材、例えばミラーやプリズム等にも適用され得る。

【0043】

【発明の効果】本発明によれば、レンズ設計時の設計解像度に近い光学性能が得られる光学部材及び投影光学系を提供することができる。本発明の光学部材及び投影光学系は、400nm以下の、i-Line、ArF・KrFエキシマレーザステップ用として適用できる。

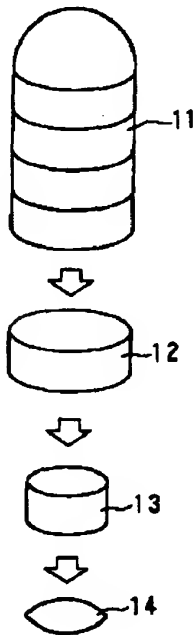
【0044】これらの発明により、光リソグラフィー装置の性能向上及び安定化が可能になった。なお、本発明の光学部材を光リソグラフィー技術に用いた場合において、400nm以下の特定波長領域の光を用いて露光・転写を行うほか、He-Ne(632.8nm)等のレーザ光を用いてのウエハのアライメントにも兼用することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係るリソグラフィー用石英ガラスの製造手順の概略図である。

【図2】 本発明に係る光学部材を用いて製作された投影レンズを組み込んだリソグラフィー装置の概略図である。

【図1】



【図2】

